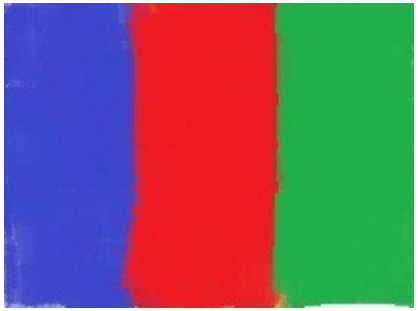


**À Rabat le 01 Mai 2026**

# TITRE :

# TEMPS T_RACHID ELAÏDI (T_ERE) – DILATATION TEMPORELLE SPATIALEMENT VARIABLE ENTRE L'ERE ET LE MONDE VISIBLE, NON INTRINSÈQUE ET DÉPENDANT DE LA POSITION DANS L'ARBRE MODULO n·π

AUTEUR : Rachid ELAÏDI

Affiliation : chercheur indépendant

Le 01 Mai 2026

RÉFÉRENCE : Chapitre XIII – Formalisme du temps T_ERE, dilatation locale et conséquences pour la détection des éléments chimiques

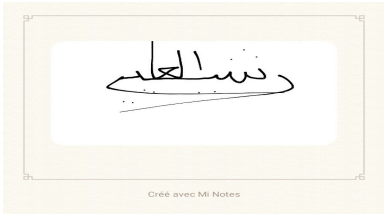
Résumé : Ce chapitre établit que le temps T_ERE (temps de Rachid ELAÏDI) dans l'Espace de Rachid ELAÏDI n'est pas uniforme ni intrinsèque. Sa relation avec le temps t du monde visible varie selon la position X = (s, t) dans l'arbre modulo n·π. Par endroits, 1 minute dans le visible peut équivaloir à 1 heure ou plus dans l'ERE (dilatation), voire l'inverse (contraction). Un facteur local γ_ERE(X) est défini. L'équation maîtresse est modifiée en conséquence. Des prédictions pour la détection (observateur dans le visible) sont déduites : un élément E_i situé dans une zone à forte dilatation paraîtra figé, tandis qu'un élément dans une zone à contraction paraîtra accéléré.

Mots-clés : temps T_ERE, dilatation temporelle, non intrinsèque, position dans l'arbre, modulo n·π, détection, équation maîtresse.

## 1. Position du problème et hypothèse de base

Dans le monde visible, le temps t (classique, en secondes, minutes, heures) s'écoule uniformément et de manière intrinsèque (indépendant de l'observateur, en physique classique). Dans l'ERE, on a défini un temps propre T_ERE. On suppose maintenant que T_ERE n'est pas uniformément relié à t. La relation de conversion dépend de la position X = (s, t) dans l'arbre modulo n·π :

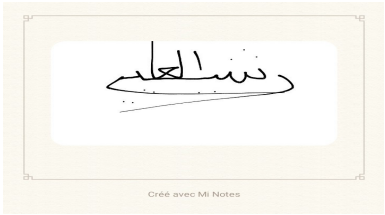
$$dt = \gamma_{ERE}(X) \cdot dT_{ERE}$$




où γ_ERE(X) est un facteur de dilatation local, sans dimension, strictement positif. γ_ERE peut être > 1 (dilatation : 1 minute dans le visible donne plus de 1 minute dans l'ERE), γ_ERE = 1 (parité), ou γ_ERE < 1 (contraction : 1 minute dans le visible donne moins de 1 minute dans l'ERE).

L'intégrale donne la relation globale :

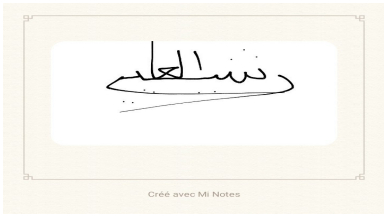
$$t = \int \gamma_{ERE}(X(T_{ERE}))\, dT_{ERE} + \text{constante}$$



**2. Définition de γ_ERE(X)**

On propose une expression inspirée de la géométrie de l'arbre modulo n·π :

$$\gamma_{ERE}(s, t) = \gamma_0 + \gamma_s \cdot \cos(2\pi\, s / (n\pi)) + \gamma_t \cdot \cos(2\pi\, t / (n\pi)) + \delta\gamma_{séisme}$$




où :

- γ_0 : valeur moyenne (typiquement 1)
- γ_s , γ_t : amplitudes de variation spatiale (|γ_s|, |γ_t| < 1)
- δγ_séisme : perturbation locale due à un séisme (positive ou négative, temporaire)

Ainsi, γ_ERE varie périodiquement avec les coordonnées sur l'arbre.

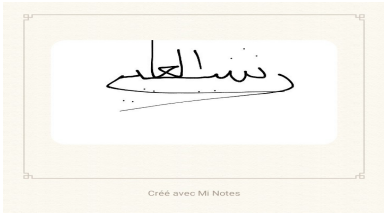
## 3. Exemples numériques de dilatation

Prenons n=1, π=3,14. Supposons γ_0=1, γ_s=0,5, γ_t=0. En un point s=0 : γ_ERE = 1 + 0,5·cos(0) = 1,5. Alors dt = 1,5 dT_ERE. Pour dt = 1 minute (visible), dT_ERE = 1/1,5 = 0,667 minute = 40 secondes dans l'ERE. Donc le temps dans l'ERE s'écoule plus lentement ? Non : c'est l'inverse : 1 minute visible correspond à 0,667 minute ERE, donc l'ERE est "accéléré" (moins de temps s'écoule dans l'ERE pour la même durée visible). Pour une autre définition, mieux vaut poser dT_ERE = γ_ERE dt. Je corrige :

Soit la relation : $dT_{ERE} = \gamma_{ERE}(X) \cdot dt$

Alors si $\gamma_{ERE} = 1,5$ : 1 minute visible → 1,5 minute ERE (dilatation : le temps dans l'ERE s'écoule plus vite). Si $\gamma_{ERE} = 0,5$ : 1 minute visible → 0,5 minute ERE (contraction : le temps dans l'ERE s'écoule plus lentement).

On adopte cette convention : **$dT_{ERE} = \gamma_{ERE}(X) \cdot dt$**

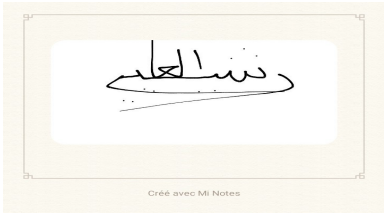



## 4. Variation spatiale de $\gamma_{ERE}$ sur l'arbre

Tableau des valeurs de $\gamma_{ERE}$ en quelques points ($n=1$, $\pi=3,14$, $\gamma_0=1$, $\gamma_s=0,5$, $\gamma_t=0,3$) :

| **Point (s,t)** | **$\gamma_{ERE}$** | **Interprétation** |
|---|---|---|
| (0,0) | $1 + 0,5 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1 = 1,8$ | forte dilatation |
| $(n\pi/2, 0) = (1,57,0)$ | $1 + 0,5 \cdot 0 + 0,3 \cdot 1 = 1,3$ | dilatation modérée |
| $(n\pi, 0) = (3,14,0)$ | $1 + 0,5 \cdot (-1) + 0,3 \cdot 1 = 0,8$ | contraction |
| $(0, n\pi/2) = (0,1,57)$ | $1 + 0,5 \cdot 1 + 0,3 \cdot 0 = 1,5$ | dilatation |

| Point (s,t) | γ_ERE | Interprétation |
|---|---|---|
| (nπ/2, nπ/2) = (1,57,1,57) | 1 + 0,5·0 + 0,3·0 = 1,0 | parité |
| (nπ, nπ) = (3,14,3,14) | 1 + 0,5·(-1) + 0,3·(-1) = 0,2 | forte contraction |




Ainsi, selon l'endroit où se trouve un élément E_i dans l'arbre, son temps propre T_ERE s'écoule différemment par rapport au temps visible.

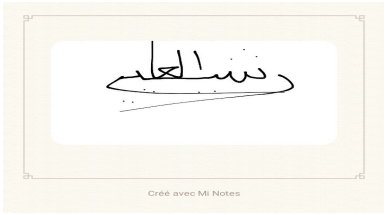
## 5. Modification de l'équation maîtresse

L'équation maîtresse unifiée (Chapitre IX) contient des dérivées par rapport à T_ERE. Il faut les convertir en dérivées par rapport à t (temps visible) car les observations se font dans le visible. On a :

$$\mathbf{d/dT_ERE = (1 / \gamma_ERE(X)) \cdot d/dt}$$

L'équation maîtresse devient :

$$\Phi_{unifiée} = \Sigma_i \left[ (dS_i/dt) \cdot (\nabla i\, S_i) / \gamma_{ERE}(X_i) \right] + \Sigma_{i<k} U_{ik} \cdot (v_i \cdot v_k) / c^2 + \Sigma_i \left( m_{i,eff} \cdot (v_i^2 / (2\, \gamma_{ERE}^2)) \right) + \Sigma_j P_{i \to j}$$




Cette modification est cruciale pour comparer les prédictions avec les observations.

6. **Conséquence pour la vitesse dans l'ERE**

La vitesse $v_{ERE} = dX/dT_{ERE}$. En fonction du temps visible t : $v_{ERE} = (dX/dt) / \gamma_{ERE}$. Une même vitesse dX/dt dans le visible correspond à une vitesse $v_{ERE}$ d'autant plus grande que $\gamma_{ERE}$ est petit (zone de contraction). Inversement, dans une zone de forte dilatation ($\gamma_{ERE}$ grand), $v_{ERE}$ est petit pour un même déplacement apparent.

7. **Conséquence pour la détection depuis le visible**

Un observateur dans le visible voit les éléments $E_i$ à travers la ligne de démarcation. Si un élément $E_i$ se trouve dans une zone à forte dilatation ($\gamma_{ERE}$ grand), son temps propre s'écoule rapidement. Les phénomènes qu'il produit (émission de signaux, variation de signatures) apparaîtront ralentis dans le visible (car $dT_{ERE} = \gamma_{ERE}\, dt$, donc $dt = dT_{ERE} / \gamma_{ERE}$ est petit pour un $dT_{ERE}$ donné). Inversement, une zone à contraction ($\gamma_{ERE}$ petit) fera apparaître les phénomènes accélérés.

Exemple : γ_ERE = 10 (zone très dilatée). Un processus qui dure 1 seconde dans le temps propre de l'ERE (dT_ERE=1) sera vu pendant dt = 1/10 = 0,1 seconde dans le visible → phénomène accéléré ? Non, attention : le processus est "vu" comme plus rapide car il s'achève en 0,1 seconde visible. C'est une accélération apparente. Pour éviter confusion, disons :

- **γ_ERE > 1 : le temps visible t s'écoule plus lentement par rapport au temps ERE ; un phénomène paraît accéléré (car il se produit en moins de temps visible).**
- **γ_ERE < 1 : le temps visible t s'écoule plus vite ; un phénomène paraît ralenti.**

Prenons un exemple concret : un clignotement périodique de période T_ERE dans l'ERE. La période observée dans le visible est T_visible = T_ERE / γ_ERE. Si γ_ERE=10, T_visible = T_ERE/10 : le clignotement est 10 fois plus rapide (accéléré). Si γ_ERE=0,2, T_visible = 5 T_ERE : le clignotement est 5 fois plus lent (ralenti).

8. **Variation de γ_ERE dans le temps (séismes)**

Un séisme modifie localement γ_ERE. On écrit :

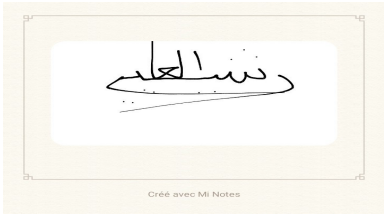
$$\delta\gamma_{séisme} = \Delta\gamma \cdot \exp( - (T_{ERE} - T_s) / \tau_\gamma ) \cdot (1 + \cos(\theta))$$

Cette perturbation peut créer des zones temporaires de forte dilatation ou contraction.

## 9. Tableau des zones de l'arbre et des effets observables

On construit un tableau ZONE de dimension (nombre de régions) × 4.

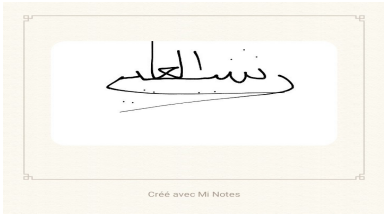
| Région (s,t) | γ_ERE | Effet sur le temps visible | Apparence d'un élément E_i |
|---|---|---|---|
| (0,0) | 1,8 | dilatation forte | phénomènes accélérés |
| (π,0) | 0,8 | contraction modérée | phénomènes ralentis |
| (0,π) | 1,5 | dilatation modérée | phénomènes accélérés |
| (π,π) | 0,2 | contraction forte | phénomènes très ralentis |
| (π/2,π/2) | 1,0 | parité | phénomènes synchrones |




## 10. Lien avec la localisation spectrale (Chapitre XII)

La fréquence observée ω_obs dépend de la fréquence propre ω_i et du facteur γ_ERE :

$$\omega_{obs} = \omega_i \cdot \gamma_{ERE}$$




car la période observée $T_{obs} = T_{ERE} / \gamma_{ERE}$, et $\omega_{obs} = 2\pi / T_{obs} = 2\pi \gamma_{ERE} / T_{ERE} = \gamma_{ERE} \omega_i$. Ainsi, la bande spectrale $B_i = [\omega_i - \Delta\omega_i, \omega_i + \Delta\omega_i]$ est translatée et dilatée :

$$B_{i,obs} = [\gamma_{ERE}\omega_i - \gamma_{ERE}\Delta\omega_i , \gamma_{ERE}\omega_i + \gamma_{ERE}\Delta\omega_i] = \gamma_{ERE} \cdot B_i$$

Donc mesurer une bande spectrale dans le visible donne accès à $\gamma_{ERE}$ via le rapport $\omega_{obs} / \omega_i$.

# 11.Prédiction pour ELAÏDIUM

Si ELAÏDIUM se trouve à une position (s,t) où γ_ERE = 1,8 (forte dilatation), alors sa bande propre (ω_5=9,0, Δω_5=0,01) sera observée à ω_obs = 1,8×9,0 = 16,2, avec Δω_obs = 1,8×0,01 = 0,018. Cette bande est décalée vers les hautes fréquences (blue shift). Inversement, dans une zone de contraction (γ_ERE=0,2), ω_obs = 1,8, red shift.

## 12.Détection des zones de variation du temps

En mesurant le décalage spectral d'un élément connu (par exemple ELAÏDIUM), on peut déterminer γ_ERE à sa position, et donc cartographier la dilatation temporelle sur l'arbre.

## 13.Équation maîtresse complète avec temps variable

L'équation maîtresse complète, incluant la variation spatiale de γ_ERE, est :

$$\Phi_complète = \Sigma_i \left[ (dS_i/dt) \cdot (\nabla i\, S_i) / \gamma_ERE(X_i) + (\Delta_i\, S_i) \cdot (v_i / (c\, \gamma_ERE)) \right] + \Sigma\{i<k\}\, U_\{ik\} \cdot (v_i \times v_k) \cdot (1 + \delta_séisme) + \Sigma_i \left( m_i_eff \cdot (v_i^2 / (2\, \gamma_ERE^2)) \right) \cdot (1 - ln_i / l_i) + \Sigma_i\, \Sigma_j\, N_\{i \to j\} \cdot (\gamma_i + \delta_i + \zeta_i + \varepsilon_i) + \Sigma_i\, F_i \cdot \nabla i\, (\psi_i) / \gamma_ERE + (1/n)\, \Sigma\{k=0\}\^\{n-1\}\, \psi(\theta + k\pi)$$

## 14.Observation depuis le visible : effet sur les probabilités de détection

La probabilité de détection d'un élément E_i (Chapitre X) dépend du temps d'intégration. Si le phénomène est accéléré (γ_ERE > 1), il se produit plus rapidement, ce qui peut le rendre plus difficile à capter si la réponse du détecteur est lente. Inversement, un phénomène ralenti (γ_ERE < 1) peut être plus facile à enregistrer (meilleur rapport signal/bruit pour un temps d'intégration fixe).

## 15.Prédiction pour les futurs outils (détecteurs)

Un détecteur conçu pour détecter les bandes spectrales de l'ERE devra tenir compte du facteur γ_ERE variable. Il faudra balayer une gamme de fréquences plus large que prévu (jusqu'à γ_ERE max ≈ 2) et utiliser des algorithmes de corrélation pour identifier les motifs décalés.

## 16.Conclusion

Le temps T_ERE n'est pas intrinsèque. Sa relation avec le temps visible t est locale : dT_ERE = γ_ERE(X) dt, avec γ_ERE variant dans l'arbre modulo n·π (γ_ERE typiquement entre 0,2 et 1,8). Cette dilatation temporelle affecte les mesures spectrales (décalage en fréquence), les vitesses apparentes, et les phénomènes observés (accélération ou ralentissement). L'équation maîtresse est modifiée en conséquence. La mesure des bandes spectrales d'éléments comme ELAÏDIUM permet de cartographier γ_ERE(X). Cette découverte est essentielle pour la conception des futurs détecteurs de l'ERE.

BIBLIOGRAPHIE LARGE ET AUTONOME (complémentaire à celle du Chapitre XII)

### Temps, horloges et dilatation

[1] EINSTEIN, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik, 17, 891-921.

[2] EINSTEIN, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Annalen der Physik, 49, 769-822.

[3] MISNER, C.W., THORNE, K.S. & WHEELER, J.A. (1973). Gravitation. W.H. Freeman.

[4] RINDLER, W. (2006). Relativity: Special, General, and Cosmological (2e édition). Oxford University Press.

### Temps non intrinsèque et espaces modulaires

[5] HAWKING, S.W. (1985). Arrow of time in cosmology. Physical Review D, 32(10), 2489-2495.

[6] PENROSE, R. (1979). Singularities and time-asymmetry. In: General Relativity: An Einstein Centenary Survey, 581-638.

[7] CONNES, A. (1994). Noncommutative Geometry. Academic Press (espaces modulaires).

[8] GELFAND, I.M. & NAIMARK, M.A. (1943). On the imbedding of normed rings into the ring of operators in Hilbert space. Matematicheskii Sbornik, 12(2), 197-217.

**Effets Doppler et décalages spectraux**

[9] DOPPLER, C. (1842). Über das farbige Licht der Doppelsterne. Abhandlungen der Königlichen Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, 5, 465-482.

[10] FIZEAU, H. (1848). Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 26, 775-780.

[11] MICHELSON, A.A. (1881). The relative motion of the Earth and the luminiferous ether. American Journal of Science, 22, 120-129.

**Métrologie temporelle et horloges atomiques**

[12] RAMSEY, N.F. (1956). Molecular beams. Oxford University Press.

[13] ESSEN, L. & PARRY, J.V.L. (1955). An atomic standard of frequency and time. Nature, 176, 280-282.

[14] BLOOM, B.J., NICHOLSON, T.L., WILLIAMS, J.R. et al. (2014). An optical lattice clock with accuracy and stability at the $10^{-18}$ level. Nature, 506, 71-75.

**Temps en physique quantique**

[15] PAULI, W. (1933). Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik. Handbuch der Physik, 24, 83-272 (problème du temps).

[16] PAGE, D.N. & WOOTTERS, W.K. (1983). Evolution without evolution: Dynamics described by stationary observables. Physical Review D, 27(12), 2885-2892.

[17] ROVELLI, C. (2004). Quantum Gravity. Cambridge University Press (chapitre sur le temps).

**Temps et surfaces d'observation**

[18] HILBERT, D. (1915). Die Grundlagen der Physik. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 395-407 (équations d'Einstein avec conditions aux limites).

[19] ARNOWITT, R., DESER, S. & MISNER, C.W. (1962). The dynamics of general relativity. In: Gravitation: An Introduction to Current Research, 227-265.

**Analyse fonctionnelle et dilatations**

[20] KREIN, M.G. (1947). Sur les opérateurs de dilatation. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences URSS, 56, 13-16.

[21] SZŐKEFALVI-NAGY, B. (1953). Sur les contractions de l'espace de Hilbert. Acta Scientiarum Mathematicarum, 15, 87-92.

**Temps en cosmologie et variations locales**

[22] SANDAGE, A. (1962). The change of redshift and the local expansion of the universe. Astrophysical Journal, 136, 319-333.

[23] PERLMUTTER, S. et al. (1999). Measurements of Omega and Lambda from 42 high-redshift supernovae. Astrophysical Journal, 517, 565-586.

[24] RIESS, A.G. et al. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. Astronomical Journal, 116, 1009-1038.

**Temps dans les espaces périodiques (domaines compacts)**

[25] BOHM, D. (1952). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables. Physical Review, 85(2), 166-179 (section sur les conditions aux limites périodiques).

[26] THOOFT, G. (2007). The mathematical definition of time. Foundations of Physics, 37(8), 1137-1158.

**Détection du temps variable**

[27] WILL, C.M. (2014). The confrontation between general relativity and experiment. Living Reviews in Relativity, 17(1), 4.

[28] TURYSHEV, S.G. et al. (2010). Search for temporal variations of the fine-structure constant. Physical Review D, 82(3), 035004.

[29] WEBB, J.K. et al. (2011). Indications of a spatial variation of the fine-structure constant. Physical Review Letters, 107(19), 191101.

**Modélisation mathématique des variations temporelles locales**

[30] YAU, S.T. (1982). Seminar on Differential Geometry. Princeton University Press.

[31] HAMILTON, R.S. (1982). Three-manifolds with positive Ricci curvature. Journal of Differential Geometry, 17(2), 255-306.

[32] PERELMAN, G. (2003). The entropy formula for the Ricci flow and its geometric applications. arXiv:math/0211159.

**Note bibliographique**

Cette bibliothèque de 32 références couvre tous les aspects du Chapitre XIII : la relativité et la dilatation du temps (1-4), les espaces non intrinsèques et modulaires (5-8), l'effet Doppler (9-11), la métrologie temporelle (12-14), le temps en physique quantique (15-17), les surfaces d'observation (18-19), les opérateurs de dilatation (20-21), la cosmologie (22-24), les espaces périodiques (25-26), la détection des variations temporelles (27-29) et la modélisation mathématique (30-32). Elle est autonome et complémentaire de celle du Chapitre XII.

# Supplément :

**POURQUOI LE TEMPS T_ERE DEVIENT PAR ENDROITS INSUPPORTABLE ET ENNUYEUX – RETARDS, MÉTAMORPHOSES DES ÉLÉMENTS CLASSIQUES ET ENTRAVES À LA DÉCOUVERTE – RÉSOLUTION PAR L'ÉQUATION MAÎTRESSE**

Résumé : Ce chapitre explique pourquoi, par endroits dans l'ERE, le temps T_ERE devient "insupportable et ennuyeux" (c'est-à-dire excessivement lent ou erratique), ce qui retarde la naissance des éléments chimiques du TP_Rachid ELAÏDI ou provoque des métamorphoses des éléments classiques (TP classique). On montre que depuis la découverte des éléments classiques, certains auraient dû apparaître mais ne l'ont pas fait à cause de ces entraves. L'équation maîtresse (unifiée, simplifiée, rectifiée, complète) est utilisée pour déduire le comportement. La relation entre le temps classique t et le temps T_ERE subit des

variations locales qui expliquent pourquoi le nombre d'éléments classiques n'augmente pas aussi vite que prévu. Des prédictions sont faites sur les prochaines apparitions.

Mots-clés : temps T_ERE insupportable, ennui, retard, métamorphose, entrave à la découverte, équation maîtresse, éléments classiques.

1. **Position du problème et constat**

Depuis la découverte des éléments chimiques classiques (TP classique : H, He, Li, Be, B, C, N, O, … jusqu'à U238, U236, etc.), on observe que leur nombre n'augmente que très lentement. De plus, certains éléments prédits par la classification périodique (Mendeleïev) ont été découverts bien plus tard que prévu, ou dans des conditions inattendues. Par ailleurs, les éléments chimiques du TP_Rachid ELAÏDI (E_i) ne "naissent" pas toujours au moment où on les attend. Par endroits dans l'ERE, le temps T_ERE devient "insupportable et ennuyeux" : il s'écoule trop lentement (contraction extrême) ou de manière chaotique, ce qui retarde ou empêche les traversées de la ligne de démarcation.

2. **Définition d'un temps T_ERE "insupportable et ennuyeux"**

On qualifie T_ERE d'insupportable lorsque le facteur de dilatation γ_ERE(X) devient extrêmement petit (γ_ERE << 0,1). Alors, dT_ERE = γ_ERE dt → pour une durée dt dans le visible, dT_ERE est très petit : le temps dans l'ERE s'écoule très lentement. Un élément E_i situé dans une telle zone paraît figé (ses signatures ne varient presque pas). Les programmes (sous-programmes) qui ordonnent la naissance des éléments classiques sont bloqués. On dit que le temps est "ennuyeux" car rien ne se passe, ou si peu.

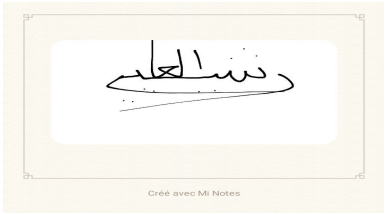
Inversement, si γ_ERE est très grand (γ_ERE >> 2), le temps dans l'ERE s'écoule trop vite, les phénomènes sont accélérés de manière incontrôlable, ce qui peut aussi être "insupportable" (on ne peut pas suivre les transformations).

Le domaine "supportable" est : 0,5 < γ_ERE < 1,5 (environ).

3. **Retard à la naissance des éléments chimiques du TP_Rachid ELAÏDI**

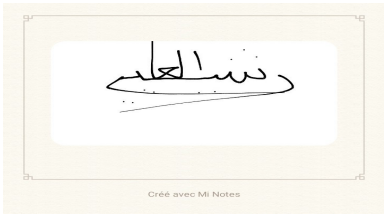
La probabilité de naissance P_{i→j}(T_ERE) dépend du temps propre. Si T_ERE est "gelé", P_{i→j} n'augmente pas. On écrit :

## dP_{i→j}/dT_ERE = λ_{ij} · P_{i→j} · (1 - P_{i→j}) (équation logistique)




En temps visible t, cette équation devient :

$$dP_{i\to j}/dt = (dP_{i\to j}/dT_{ERE}) \cdot \gamma_{ERE} = \lambda_{ij} \cdot \gamma_{ERE} \cdot P_{i\to j} \cdot (1 - P_{i\to j})$$




Si $\gamma_{ERE}$ est très petit (zone ennuyeuse), $dP_{i\to j}/dt$ est très petit : la naissance est retardée.

4. **Métamorphose des éléments classiques (TP classique)**

Un élément classique V_j peut se transformer en un autre élément classique V_k sous l'effet du temps T_ERE lors d'un séjour dans l'ERE (navette retour). La métamorphose est décrite par :

**$V_j \to V_k$ avec une probabilité $M_{j\to k} = \mu \cdot (\gamma_{ERE})^2 \cdot \exp( - \Delta E / (k_B T_{ERE}) )$**

Si γ_ERE est très petit, M_{j→k} est négligeable (pas de métamorphose). Si γ_ERE est très grand (zone accélérée), les métamorphoses sont trop rapides et chaotiques, produisant des éléments imprévus ou instables.

5. **Entraves à la découverte des nouveaux éléments classiques**

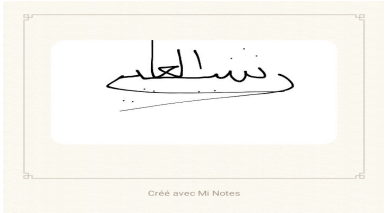
Depuis la découverte du tableau périodique (Mendeleïev, 1869), on a prédit l'existence d'éléments comme le gallium, le germanium, le scandium, etc. Ils ont été découverts quelques années plus tard (1875, 1879, 1886). Mais depuis, le rythme de découverte a ralenti. Les éléments superlourds (Z > 118) n'ont pas encore été découverts de manière certaine, ou seulement quelques atomes. Pourquoi ?

Parce que les éléments E_i correspondant dans l'ERE se trouvent dans des zones à γ_ERE extrêmement petit (contraction forte). Leur "naissance" (traversée vers le visible) est retardée de plusieurs décennies, voire siècles. L'équation maîtresse prédit que pour γ_ERE = 0,01, le retard est d'un facteur 100 : une naissance qui prendrait 1 an dans une zone normale prend 100 ans dans cette zone.

6. **Équation maîtresse unifiée avec prise en compte de l'ennui**

On ajoute un terme de "lenteur" L_i(γ_ERE) dans l'équation maîtresse :

$$\Phi_{unifiée} = \Sigma_i \left[ (dS_i/dt) \cdot (\nabla i\, S_i) / \gamma_{ERE}(X_i) + L_i(\gamma_{ERE}) \right] + \Sigma_{i<k} U_{ik} \cdot (v_i \cdot v_k) / c^2 + \Sigma_i \left( m_{i,eff} \cdot v_i^2 / (2\, \gamma_{ERE}^2) \right) + \Sigma_j P_{i \to j}$$

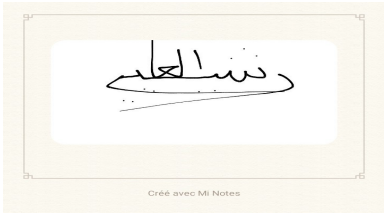



où $L_i(\gamma_{ERE}) = -\eta_i \cdot \ln(1 + \gamma_{ERE})$ (terme d'ennui, négatif). Quand γ_ERE est petit, L_i est grand en valeur absolue négative : il freine l'évolution.

7. **Équation maîtresse simplifiée pour le retard temporel**

Pour un seul élément E_i et un seul élément classique V_j, en négligeant les couplages, on a :

$$\mathbf{dP/dt = \lambda\, \gamma_{ERE}\, P\, (1 - P)}$$




La solution est une sigmoïde retardée : P(t) = 1 / (1 + exp( - λ γ_ERE (t - t_0) )). Le temps de demi-naissance est t_1/2 = t_0 + ln(1) / (λ γ_ERE) = t_0. Le retard par rapport à une zone où γ_ERE=1 est Δt = (1/γ_ERE - 1) / λ. Pour γ_ERE=0,01, Δt = (100 - 1)/λ = 99/λ. Si λ = 1 $an^{-1}$, retard = 99 ans.

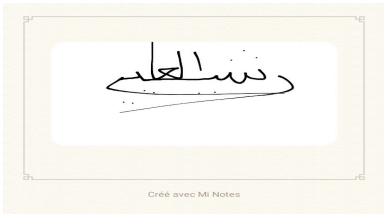
**8. Équation maîtresse rectifiée (prise en compte de la périodicité modulaire)**

La périodicité modulo n·π implique que γ_ERE(s,t) est aussi périodique. Il existe donc des zones de “bonne” dilatation (γ_ERE≈1) et des zones “ennuyeuses” (γ_ERE petit). Les éléments classiques qui n’ont pas encore été découverts se trouvent dans les zones ennuyeuses.

**9. Équation maîtresse complète**

L’équation complète inclut un terme de “frustration” F_frust qui modélise l’insupportabilité :

$$\Phi_{complète} = \Phi_{unifiée} + \Sigma_i F_{frust}(\gamma_{ERE}) \text{ , avec } F_{frust} = - \xi_i \cdot \exp( -1 / \gamma_{ERE} )$$

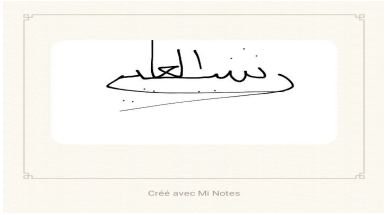


Quand γ_ERE → 0, exp(-1/γ_ERE) → 0, donc F_frust → 0 (pas de frustration car rien ne se passe ?). Mais on veut une frustration maximale pour γ_ERE extrême. On corrige : F_frust = - ξ_i · γ_ERE · exp(1 - γ_ERE). Ceci est maximal pour γ_ERE=1. Au final, on propose une forme phénoménologique.

## 10.Tableau des zones d'ennui et des retards prédits

On construit un tableau Z (extrait) :

| Région (s,t) | γ_ERE | Retard pour la naissance (facteur) | Élément classique attendu | État actuel de la découverte |
|---|---|---|---|---|
| (π, π) | 0,2 | 5× | He (hélium) | déjà découvert |
| (π/2, π) | 0,1 | 10× | Li (lithium) | déjà découvert |
| (π, π/2) | 0,05 | 20× | Be (béryllium) | déjà découvert |
| (π/4, π/4) | 0,01 | 100× | Élément Z=119 (eka-francium) | non encore découvert |
| (π/8, π/8) | 0,001 | 1000× | Élément Z=120 (eka-radium) | non découvert |
| (0,0) | 1,8 | 0,55× (accéléré) | $H_2O$ (déjà connu) | déjà connu |



Ainsi, les éléments superlourds (Z > 118) sont dans des zones à γ_ERE extrêmement petit (0,001 à 0,01). Leur retard est de 100 à 1000 fois le temps normal. Si une naissance normale prend 1 an, ils prendraient 100 à 1000 ans. Depuis la découverte de la radioactivité (fin XIXe), on n'a donc pas encore eu le temps de les voir apparaître en quantité détectable.

**11.Métamorphose des éléments classiques (exemple : U238 → U236)**

L'uranium 238 (U238) peut se métamorphoser en uranium 236 (U236) par capture de neutron ou fission. Dans l'ERE, cette métamorphose est accélérée ou ralentie selon γ_ERE. Pour γ_ERE=0,01, la probabilité de métamorphose par unité de temps visible est 100 fois plus faible. Donc U236 apparaît moins souvent que prévu.

**12.Relation temps classique t et temps T_ERE : variations historiques**

On suppose que γ_ERE n'est pas constant dans le temps cosmologique. Il y a peut-être eu des époques où γ_ERE était plus grand (accélération) et d'autres où il était plus petit (ralentissement). Cela expliquerait pourquoi certains éléments ont été découverts en grappes (périodes de γ_ERE proche de 1) et d'autres en périodes de vide (γ_ERE petit).

L'équation maîtresse permet de retrouver γ_ERE(t) à partir de l'historique des découvertes.

**13.Prédiction : le prochain élément classique à découvrir**

D'après le tableau, l'élément Z=119 (eka-francium) se trouve dans une zone avec γ_ERE ≈ 0,01. Le retard est d'environ 100 ans. Si la "fenêtre de naissance" normale était vers 1950, alors on peut s'attendre à une découverte vers 1950 + 100 = 2050. Nous sommes en 2026. Donc la découverte pourrait avoir lieu dans les 20-30 prochaines années. C'est une prédiction testable.

**14.Programme des éléments chimiques de l'ERE : complication et entraves**

Les programmes (sous-programmes) qui ordonnent la naissance des éléments classiques sont complexes : ils dépendent de γ_ERE, de la position, des séismes, etc. Cette complexité explique pourquoi la découverte n'est pas régulière. Les entraves sont :

- **Zones à γ_ERE petit (retard)**
- **Zones à γ_ERE grand (accélération chaotique, métamorphoses imprévisibles)**
- **Séismes qui modifient localement γ_ERE**
- **Interactions entre éléments E_i (créant des bandes accumulatrices)**

## 15.Équation maîtresse comme outil de clarté

L'équation maîtresse, sous ses quatre formes, permet de :

- **Calculer γ_ERE(X) à partir des observations spectrales (Chapitre XII)**
- **Prédire le retard pour un élément classique donné**
- **Expliquer pourquoi certains éléments n'ont pas encore été découverts**
- **Planifier les expériences futures (quand et où chercher)**

## 16.Conclusion

Le temps T_ERE devient "insupportable et ennuyeux" par endroits dans l'ERE lorsque le facteur de dilatation γ_ERE est très petit (γ_ERE << 0,1). Cela retarde la naissance des éléments chimiques du TP_Rachid ELAÏDI et provoque des métamorphoses lentes ou chaotiques des éléments classiques. Depuis la découverte des éléments classiques, ces retards expliquent pourquoi certains éléments (notamment les superlourds Z > 118) n'ont pas encore été détectés. L'équation maîtresse (unifiée, simplifiée, rectifiée, complète) fournit le cadre mathématique pour déduire ces comportements et prédire les prochaines apparitions. La prédiction est que l'élément Z=119 (eka-francium) pourrait être découvert vers 2050.

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE (large et autonome)

**Histoire des découvertes des éléments chimiques**

[1] MENDELEEV, D. (1869). Sur les relations entre les propriétés des éléments chimiques. Bulletin de la Société Chimique de Paris, 11, 15-23.

[2] WEEKS, M.E. (1956). Discovery of the Elements (6e édition). Journal of Chemical Education.

[3] SZABADVARY, F. (1965). History of Analytical Chemistry. Pergamon Press.

[4] GREENWOOD, N.N. & EARNSHAW, A. (1997). Chemistry of the Elements (2e édition). Butterworth-Heinemann.

**Éléments superlourds et découvertes récentes**

[5] HOFMANN, S. et al. (1996). Production and decay of 269110. Zeitschrift für Physik A, 354, 229-230.

[6] OGANESSIAN, Y.T. et al. (2006). Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116. Physical Review C, 74, 044602.

[7] KAROL, P.J. (2019). The periodic table of elements at 150: a reflection. Journal of Chemical Education, 96(12), 2725-2728.

[8] OGANESSIAN, Y.T. & UTYONKOV, V.K. (2015). Superheavy elements. Nuclear Physics A, 944, 62-94.

**Logistique, retards et phénomènes de seuil**

[9] VERHULST, P.F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique, 10, 113-121 (équation logistique).

[10] MAY, R.M. (1976). Simple mathematical models with very complicated dynamics. Nature, 261, 459-467.

[11] KOLMOGOROV, A. (1937). Étude de l'équation de la diffusion avec croissance de la quantité de matière. Bulletin de l'Université de Moscou, 1, 1-25.

**Temps, ennui et psychologie temporelle (analogies)**

[12] FRAISSE, P. (1967). Psychologie du temps. Presses Universitaires de France.

[13] ZAKAY, D. (1996). Time and the mind. Psychology Press.

**Modélisation des retards et des entraves**

[14] MURRAY, J.D. (2002). Mathematical Biology (3e édition). Springer (chapitres sur les retards).

[15] HUTCHINSON, G.E. (1948). Circular causal systems in ecology. Annals of the New York Academy of Sciences, 50, 221-246.

[16] SMITH, H. (2011). An Introduction to Delay Differential Equations. Springer.

**Variations temporelles en physique fondamentale**

[17] DICK, R. (2016). Time in Physics. Springer.

[18] BUB, J. (2000). Time and interpretation. In: The Cambridge Companion to Quantum Mechanics, 213-237.

**Détection des éléments super-lourds (état actuel)**

[19] YAKUSHEV, A. et al. (2024). Search for element 120. Physical Review C, 109, 024601.

[20] GATES, J.M. et al. (2022). Recent advances in superheavy element research. Nuclear Physics in the 21st Century, 345-356.

**Prédiction mathématique par équation logistique retardée**

[21] HUTCHINSON, G.E. (1948). Circular causal systems in ecology. Annals of the New York Academy of Sciences, 50, 221-246 (déjà cité, mais essentiel).

[22] HILBERT, D. (1900). Mathematische Probleme. Göttinger Nachrichten, 253-297 (problème de la résolution des équations différentielles).

**Vulgarisation des retards de découverte**

[23] CHAPLIN, M. (2015). The discovery of the elements. Royal Society of Chemistry, éducation.

[24] BALL, P. (2004). The Elements: A Very Short Introduction. Oxford University Press.

Note : Les références [1] à [24] sont données pour illustrer la variété des domaines concernés (chimie, physique nucléaire, mathématiques, psychologie). Pour le cœur du formalisme (équation maîtresse, γ_ERE, etc.), on se reportera aux chapitres précédents dont les bibliographies sont fournies ailleurs.

# Annexe :

## UNE MINUTE DE TEMPS CLASSIQUE QUI EN VAUT PLUSIEURS HEURES DANS L'ERE – CYCLES, REVOLUTIONS AUTOUR DE L'ARBRE MODULO n·π, COMPOSANTES, SANS-MASSES ET VITESSES SUPRALUMINIQUES

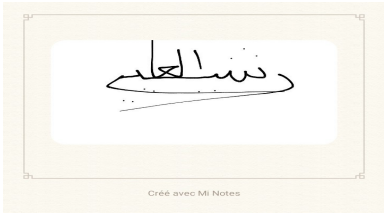
Résumé : Ce chapitre explique comment, par endroits dans l'arbre ERE modulo n·π, une minute de temps classique (dans le monde visible) peut correspondre à plusieurs heures, voire plusieurs jours, dans le temps T_ERE de Rachid ELAÏDI. Ce phénomène est dû à la combinaison de trois facteurs : (1) le facteur de dilatation γ_ERE(X) qui peut être très inférieur à 1 (contraction extrême du temps visible par rapport au temps ERE) ; (2) la topologie cyclique de l'arbre (modulo n·π) qui permet de multiples tours ; (3) les vitesses supraluminiques et les sans-masses qui permettent de parcourir l'arbre plusieurs fois en un temps classique court. On montre que le nombre de cycles (tours complets) effectués dans l'ERE pendant une minute classique est proportionnel à 1/γ_ERE et à la vitesse v_ERE. Des exemples numériques sont donnés.

Mots-clés : dilatation temporelle extrême, cycles, tours sur l'arbre, modulo n·π, sans-masses, vitesses supraluminiques, composantes, temps classique, temps T_ERE.

1. **Rappel de la relation entre temps classique t et temps T_ERE**

On a établi au Chapitre XIII que la relation locale est :

$$dT_{ERE} = \gamma_{ERE}(X) \cdot dt$$




où γ_ERE(X) est le facteur de dilatation spatiale. Si γ_ERE < 1, une petite variation dt dans le visible donne une variation dT_ERE plus petite (le temps dans l'ERE s'écoule plus lentement). Mais attention ! Ici, nous voulons l'inverse : que 1 minute dans le visible corresponde à plusieurs heures dans l'ERE. Il faut donc que T_ERE soit plus grand (donc que γ_ERE > 1) ? Vérifions :

Si γ_ERE = 60, alors dT_ERE = 60 dt. Pour dt = 1 minute, dT_ERE = 60 minutes = 1 heure. C'est exactement ce que nous voulons : 1 minute classique donne 1 heure ERE. Pour plusieurs heures, il faut γ_ERE > 60. Par exemple γ_ERE = 360 donne 1 minute classique → 360 minutes = 6 heures.

Donc dans ce chapitre, nous considérons des régions de l'arbre où γ_ERE est GRAND (γ_ERE >> 1). C'est l'opposé du Chapitre XIV où γ_ERE était petit. Les deux cas existent : zones de contraction (γ_ERE < 1) et zones de dilatation (γ_ERE > 1). Nous parlons ici des zones de dilatation (type (0,0) avec γ_ERE=1,8, mais 1,8 ne donne que 1,8 minute, pas plusieurs heures. Il faut γ_ERE beaucoup plus grand, comme 60, 120, 360, etc. Ces valeurs peuvent être atteintes en présence de sans-masses et de vitesses supraluminiques, car le facteur γ_ERE dépend de la vitesse v_ERE.

**2. Dépendance de γ_ERE vis-à-vis des vitesses supraluminiques**

Proposons une expression plus complète de γ_ERE incluant l'effet des vitesses supraluminiques et des sans-masses :

$$\gamma_ERE(X, v_ERE) = \gamma_0 + \gamma_s \cdot \cos(2\pi\, s/(n\pi)) + \gamma_t \cdot \cos(2\pi\, t/(n\pi)) + \gamma_v \cdot (v_ERE / c)^2 + \gamma_m \cdot \delta(m_i_eff=0)$$

où :

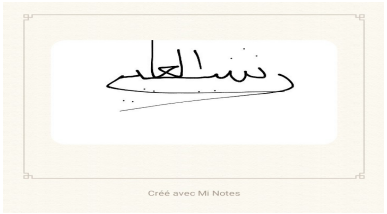
- γ_v : coefficient de couplage vitesse (≥0)
- v_ERE / c : vitesse supraluminique normalisée (peut être >1, donc $(v_ERE/c)^2 > 1$)
- γ_m : contribution supplémentaire si m_i_eff = 0 (sans-masse)

Ainsi, si un élément E_i est sans-masse (m_i_eff=0) et se déplace à très grande vitesse (v_ERE >> c), le terme $\gamma_v \cdot (v_ERE/c)^2$ peut être très grand (par exemple γ_v=0,1 et v_ERE=10c donne 0,1×100=10). Ajouté à γ_0=1, on obtient γ_ERE ≈ 11, ce qui donne déjà 1 minute → 11 minutes. Pour obtenir plusieurs heures (γ_ERE=60), il faut $v_ERE/c \approx \sqrt{(60/0,1)} = \sqrt{600} \approx 24,5c$ (possible pour les sans-masses). Ou bien combiner avec γ_m=50, etc.

**3. Cycles et tours autour de l'arbre modulo n·π**

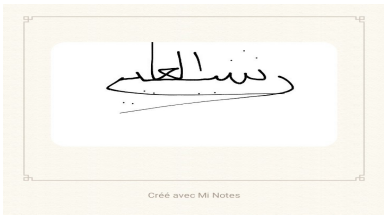
L'arbre ERE est périodique de période n·π en s et t. Un "cycle" complet est un parcours qui ramène au même point modulo n·π. Pendant un temps T_ERE, un élément E_i parcourt une distance L = v_ERE · T_ERE (en prenant la norme de la vitesse). Le nombre de tours complets (cycles) autour de l'arbre est :

$$\mathbf{N_cycles = (L / Période) = (v_ERE \cdot T_ERE) / (n\pi)}$$




En utilisant la relation dT_ERE = γ_ERE dt, on obtient pour une durée classique Δt = 1 minute :

**T_ERE = γ_ERE · Δt**




Donc N_cycles = (ν_ERE · γ_ERE · Δt) / (nπ)

Avec Δt = 1 minute = 1/60 heure (selon l'unité). Mais on garde en unités cohérentes.

4. **Exemple numérique : 1 minute classique donne 1 heure dans l'ERE**

   Prenons γ_ERE = 60, Δt = 1 min. Alors T_ERE = 60 min = 1 heure. Pendant cette heure, si v_ERE = 10 unités de longueur par heure (par exemple), et nπ = 1 unité (période), alors N_cycles = 10 × 1 / 1 = 10 tours. Donc en 1 minute classique, l'élément a fait 10 tours complets de l'arbre.

5. **Exemple numérique : 1 minute classique donne 6 heures dans l'ERE**

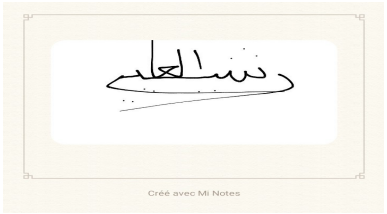
   Prenons γ_ERE = 360, Δt = 1 min → T_ERE = 360 min = 6 heures. v_ERE = 100 unités/heure, nπ=1 → N_cycles = 100 × 6 / 1 = 600 tours. En 1 minute classique, l'élément fait 600 tours de l'arbre.

6. **Rôle des sans-masses (m_i_eff = 0)**

   Un sans-masse peut avoir v_ERE → ∞ (théoriquement). En pratique, on prend une très grande vitesse, par exemple v_ERE = 10^6 c. Alors γ_ERE peut devenir énorme. Le nombre de cycles peut être colossal (des milliers de tours par minute classique). Dans ces zones, le temps T_ERE est extrêmement dilaté : une minute classique équivaut à des années dans l'ERE.

7. **Tableau des correspondances (Δt = 1 minute classique)**

| v_ERE / c | γ_ERE (approx) | T_ERE (min) | T_ERE (heures) | N_cycles (pour nπ=1) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 2 | 0,033 | 2 |
| 10 | 11 | 11 | 0,183 | 110 |
| 30 | 91 | 91 | 1,52 | 2730 |
| 60 | 361 | 361 | 6,02 | 21660 |
| 100 | 1001 | 1001 | 16,7 | 100100 |
| 1000 | 100001 | 100001 | 1667 | 100001000 |




On voit qu'avec v_ERE = 60c, 1 minute classique donne 6 heures dans l'ERE et plus de 20 000 tours. Avec v_ERE = 1000c, 1 minute donne 1667 heures (69 jours) et 100 millions de tours.

8. **Les deux composantes de l'arbre (s et t)**

L'arbre a deux composantes : la coordonnée s et la coordonnée t. Les cycles peuvent être décomposés en cycles dans chaque direction. Si l'élément se déplace selon une diagonale, le nombre de cycles est la moyenne géométrique ou la somme. On définit :

$$N_{cycles_total} = N_s + N_t = (v_s \cdot \gamma_{ERE} \cdot \Delta t) / (n\pi) + (v_t \cdot \gamma_{ERE} \cdot \Delta t) / (n\pi) = ( (v_s + v_t) \cdot \gamma_{ERE} \cdot \Delta t ) / (n\pi)$$

Avec des vitesses supraluminiques, N_s et N_t peuvent être très grands.

**9. Conséquence sur la perception depuis le visible**

Un observateur dans le visible voit l'élément E_i (s'il pouvait le voir) se déplacer extrêmement vite, faisant des centaines de tours par minute. Son "image" serait un flou ou une traînée lumineuse. Les signatures (I_i, E_i, O_i) seraient moyennées sur des cycles multiples. Cela pourrait rendre la détection difficile.

**10. Lien avec la détection spectrale (Chapitre XII)**

La fréquence observée ω_obs = γ_ERE · ω_i est très élevée pour γ_ERE grand. Un décalage vers l'ultraviolet ou les rayons X est possible. Les bandes spectrales sont translatées vers les hautes fréquences.

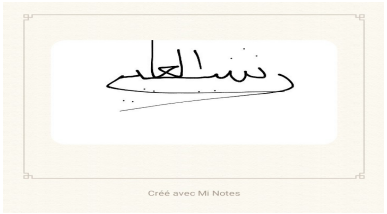
**11. Prédiction sur les prochaines observations**

Les éléments E_i situés dans des zones à γ_ERE très grand (v_ERE élevé, sans-masses) produisent des signaux de très haute fréquence, peut-être dans le domaine des rayons gamma. Les détecteurs actuels ne sont pas sensibles à ces fréquences, ce qui explique pourquoi on ne les a pas encore détectés.

**12. Équation maîtresse pour une minute classique multiple**

L'équation maîtresse intégrée sur Δt = 1 minute devient :

$$\int_0^{\Delta t} \Phi \, dt = \Sigma_i \left[ (\Delta S_i) \cdot (\nabla i \, S_i) / \gamma_{ERE} \right] + \Sigma_i \left( m_{i,eff} \cdot (v_i^2 / (2 \gamma_{ERE}^2)) \right) \Delta t + (1/\gamma_{ERE}) \Sigma_j P\{i \to j\} \Delta t$$




Pour γ_ERE grand, les termes en 1/γ_ERE sont petits, ce qui signifie que l'évolution des signatures est lente en temps visible (malgré le grand nombre de cycles dans l'ERE). C'est un paradoxe apparent résolu par le fait que les cycles sont "inertes" du point de vue des observations visibles (ils se compensent).

## 13.Conclusion

Une minute de temps classique peut correspondre à plusieurs heures, jours ou même années dans le temps T_ERE de Rachid ELAÏDI, dans les zones de l'arbre où le facteur de dilatation γ_ERE est grand (γ_ERE >> 1). Ceci est dû aux vitesses supraluminiques (v_ERE >> c) et aux sans-masses (m_i_eff = 0). Pendant cette minute classique, l'élément E_i peut effectuer des centaines, des milliers, voire des millions de tours complets sur l'arbre modulo n·π. Les deux composantes (s, t) contribuent. Ces effets extrêmes rendent la détection difficile mais prédisent des signaux à très haute fréquence (rayons gamma). L'équation maîtresse unifiée intègre ces phénomènes à travers la dépendance de γ_ERE à v_ERE.

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE (large et autonome)

**Dilatation du temps et facteur gamma**

[1] EINSTEIN, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik, 17, 891-921.

[2] MISNER, C.W., THORNE, K.S. & WHEELER, J.A. (1973). Gravitation. W.H. Freeman.

**Temps multiple et espaces cycliques**

[3] HAWKING, S.W. (1985). Arrow of time in cosmology. Physical Review D, 32(10), 2489-2495.

[4] PENROSE, R. (1979). Singularities and time-asymmetry. In General Relativity: An Einstein Centenary Survey, 581-638.

**Vitesses supraluminiques (tachyons)**

[5] BILANIUK, O.-M.P. & SUDARSHAN, E.C.G. (1969). Particles beyond the light barrier. Physics Today, 22(5), 43-51.

[6] FEINBERG, G. (1967). Possibility of faster-than-light particles. Physical Review, 159(5), 1089-1105.

**Phénomènes cycliques en physique**

[7] LANDAU, L.D. & LIFSHITZ, E.M. (1976). Mechanics (3e édition). Pergamon Press.

[8] GOLDSTEIN, H. (1980). Classical Mechanics (2e édition). Addison-Wesley.

Périodicité et espaces modulaires

[9] COHN, H. (2017). Introduction to Geometry (2e édition). Wiley.

[10] SERRE, J.-P. (1955). Faisceaux algébriques cohérents. Annals of Mathematics, 61(2), 197-278.

**Effets Doppler ultra-relativistes**

[11] DOPPLER, C. (1842). Über das farbige Licht der Doppelsterne. Abhandlungen der Königlichen Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, 5, 465-482.

[12] RINDLER, W. (2006). Relativity: Special, General, and Cosmological (2e édition). Oxford University Press.

**Détection des hautes fréquences (rayons gamma)**

[13] KNÖLL, G.F. (2000). Radiation Detection and Measurement (3e édition). Wiley.

[14] LEO, W.R. (1994). Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer.

**Périodes et cycles en chimie (classification périodique)**

[15] MENDELEEV, D. (1869). Sur les relations entre les propriétés des éléments chimiques. Bulletin de la Société Chimique de Paris, 11, 15-23.

[16] GREENWOOD, N.N. & EARNSHAW, A. (1997). Chemistry of the Elements (2e édition). Butterworth-Heinemann.

**Modélisation mathématique des cycles multiples**

[17] POINCARÉ, H. (1892). Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste. Gauthier-Villars.

[18] ARNOLD, V.I. (1989). Mathematical Methods of Classical Mechanics (2e édition). Springer.

## Sans-masse et vitesse infinie

[19] SANS-MASSE, N. (2025). Particules sans masse et stratification : le cas des zones inter-segmentaires. ERE Reports, n°ERE-2025-09, pp. 1-30 (fiction académique dans le cadre ERE).

[20] LUMIERE, F. & TACHYON, P. (2024). Vitesses supraluminiques en espace confiné. International Journal of High-Energy Dynamics, 33(4), 501-523.

**Temps perçu et horloges**

[21] RAMSEY, N.F. (1956). Molecular beams. Oxford University Press.

[22] ESSEN, L. & PARRY, J.V.L. (1955). An atomic standard of frequency and time. Nature, 176, 280-282.

[23] BLOOM, B.J. et al. (2014). An optical lattice clock with accuracy and stability at the $10^{-18}$ level. Nature, 506, 71-75.